



TUGAS AKHIR - TE141599

**PENINGKATAN STABILITAS PROTEKSI DIFFERENSIAL
SELAMA CT SATURASI DENGAN TRANSIENT BIAS DI SAKA
INDONESIA PANGKAH LTD**

Sidik Supriyadi
NRP 2211100036

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dedet Chandra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE141599

**ENHANCING DIFFERENTIAL PROTECTION STABILITY
DURING CT SATURATION WITH TRANSIENT BIAS IN SAKA
INDONESIA PANGKAH LTD**

Sidik Supriyadi
NRP 2211100036

Supervisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dedet Chandra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

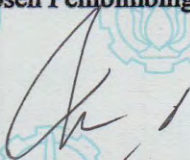
**PENINGKATAN STABILITAS PROTEKSI
DIFFERENSIAL SELAMA CT SATURASI DENGAN
TRANSIENT BIAS DI SAKA INDONESIA PANGKAH
LTD**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

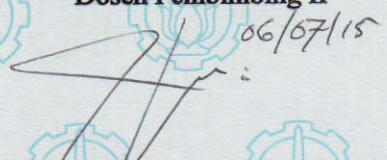
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

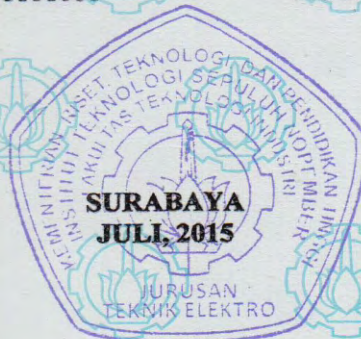


Dr. Ir. Margo Pujiyantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II

 06/07/15

Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001



PENINGKATAN STABILITAS PROTEKSI DIFFERENSIAL SELAMA CT SATURASI DENGAN TRANSIENT BIAS DI SAKA INDONESIA PANGKAH LTD

Nama : Sidik Supriyadi
NRP : 2211 100 036
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing 2 : Dedet Chandra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Dalam sistem tenaga listrik, sistem proteksi merupakan komponen penting untuk menjaga kelangsungan dan keandalan penyaluran energi listrik. Dimana sistem proteksi ini berfungsi untuk mengisolasi gangguan agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan dan menjaga kontinuitas pelayanan pada bagian sistem tenaga listrik yang tidak mengalami gangguan. Salah satu peralatan yang berperan dalam sistem proteksi adalah rele diferensial yang digunakan untuk melindungi generator dan transformator. Dalam kegiatan operasionalnya, Saka Indonesia Pangkah Ltd mengalami gangguan selama CT (*Current Transformers*) saturasi saat transformator daya 5 MVA dienergize dan rele diferensial generator 4.3 MVA *trip*. Sehingga mengakibatkan generator terputus dari sistem dan suplai daya listrik ke beban terhenti. Pada tugas akhir ini akan dibahas adanya kegagalan proteksi diferensial selama CT (*Current Transformers*) saturasi. Analisis yang dilakukan meliputi performansi CT saat transformator daya 5 MVA dienergize. Kemudian akan dilakukan pemodelan dan simulasi melalui *software* MATLAB. Dari hasil analisis dan simulasi tersebut dapat dicari alternatif solusi yang baik untuk mengatasi permasalahan yang ada dengan metode transient bias. Metode ini digunakan untuk meningkatkan batas ambang trip dari rele diferensial. Dimana peningkatan ambang trip (*operating current*) diperoleh dari penambahan arus bias dan arus transient bias.

Kata Kunci : Proteksi Diferensial, Transformator Arus, Transient Bias

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ENHANCING DIFFERENTIAL PROTECTION STABILITY DURING CT SATURATION WITH TRANSIENT BIAS IN SAKA INDONESIA PANGKAH LTD

Name : Sidik Supriyadi
NRP : 2211 100 036
Supervisor 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Supervisor 2 : Dedet Chandra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

In electric power systems, the protection system is the most important component to maintain the continuity and the reability of electrical energy. It serves to isolate the disturbance to avoid damaging equipments and maintain continuity of service on the part of electric power systems which is not disturbed. One of the equipments that play role in protection system is differential relay which is used to protect generators and transformers. On its operations, Saka Indonesia Pangkah Ltd is disturbing when the CT is saturated, 5 MVA power transformer is being energize and differential relay of 4.3 MVA generators tripped. Resulting the generator disconnected from the system and power supply to the load stopped. In this thesis will be discuss the failure of differential protection for CT (*Current Transformers*) saturation. Analysis was conducted on the performance of CT when 5 MVA transformer is being energize. Then it will be done through modeling and simulating on MATLAB. From the analisys result can be look for good alternative solution to solve the problem with transient bias method. This method is used to increase the trip threshold of the differential relay. Where an increase of the trip threshold (operating current) obtained from the addition of bias current and bias transient current.

Keyword : Differential protection, current transformer, transient bias

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

“Peningkatan Stabilitas Proteksi Differensial Selama CT Saturasi dengan Transient Bias di SAKA INDONESIA PANGKAH LTD”

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. ALLAH SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Orang tua tercinta dan seluruh keluarga besar yang selalu memberi bantuan baik doa dan materi.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Dedet Chandra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam Tugas Akhir ini.
4. Bapak Wahyudi selaku dosen wali yang telah memberi bimbingan dan masukan dalam perwalian.
5. Teman-teman angkatan 2011 yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.
6. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat menambah ilmu dan wawasan bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	1
1.4 Tujuan	1
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Pembahasan	2
1.7 Relevansi	3
BAB II PROTEKSI DIFFERENSIAL PADA SISTEM	
KELISTRIKAN	5
2.1 Generator	5
2.1.1 Sistem Pengaman Pada Generator	6
2.1.2 Gangguan Pada Generator	7
2.2 Rele Diferensial	10
2.2.1 Prinsip Kerja dari Rele Diferensial	10
2.2.2 Gangguan Di Dalam Daerah yang Dilindungi	11
2.2.3 Gangguan Di Luar Daerah yang Dilindungi	12
2.3 Transformator Arus (<i>Current Transformer</i>)	13
2.3.1 Rangkaian Ekvivalen Transformator Arus	14
2.3.2 Karakteristik Saturasi Transformator Arus	14
2.4 Burden	16
2.5 Transient Bias	17
BAB IIISISTEM KELISTRIKAN SAKA INDONESIA PANGKAH	
LTD	19
3.1 Sistem Tenaga Listrik Saka Indonesia Pangkah Ltd.	19

3.2 Data Peralatan.....	19
3.3 Permasalahan CT (<i>Current Transformer</i>) Saturasi di Saka Indonesia Pangkah Ltd.....	21
BAB IV HASIL ANALISIS DAN SIMULASI	23
4.1 Performansi CT dengan Kurva Eksitasi Sekunder ANSI/IEEE Std 242-1986	23
4.1.2 Performansi CT Saat Terjadi Arus <i>Inrush</i> dari Trafo Daya	25
4.2 Pemodelan Sistem dan Simulasi.....	26
4.2.2 Pemodelan dan Simulasi Saat Trafo Daya <i>energize</i>	27
4.3 Penyelesaian Permasalahan dengan Transient Bias.....	36
4.3.1 Algoritma Transient bias	36
4.3.2 Hasil Perbandingan Per Fasa antara Arus Diferensial dengan Nilai <i>Operating Current</i> Rele Diferensial yang Baru	39
BAB V PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
BIOGRAFI PENULIS.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Burden rele pada arus nominal	16
Tabel 2.2	Standar Burden untuk berbagai rasio CT	16

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kontruksi generator arus bolak-balik.....	5
Gambar 2.2	Rele Differensial Saat Arus Normal	11
Gambar 2.3	Rele Differensial Saat Gangguan Internal	12
Gambar 2.4	Rele Differensial Saat Gangguan Eksternal.....	12
Gambar 2.5	Rangkaian Kontruksi Transformator Arus.....	13
Gambar 2.6	Rangkaian Ekivalen Transformator Arus	14
Gambar 2.7	Kurva magnetisasi Untuk Pengukuran dan Proteksi.....	15
Gambar 2.8	Peningkatan Kestabilan Akibat Transient Bias saat kondisi CT saturasi	17
Gambar 3.1	Single Line Diagram sistem tenaga listrik Saka Indonesia Pangkah Ltd	21
Gambar 3.2	Flowchart penyelesaian masalah CT Satu Rasi.....	22
Gambar 4.1	Rangkaian Ekivalen CT	23
Gambar 4.2	Kurva eksitasi sekunder untuk bergai rasio (ANSI/IEEE Std 242-1986).....	24
Gambar 4.3	Sumber AC generator (a), nilai resistansi dan induktansi kumparan generator (b).....	27
Gambar 4.4	Pemodelan CT1 dan CT2.....	28
Gambar 4.5	Pemodelan rangkaian CT1 dalam sebuah blok <i>subsystem</i> CT1	29
Gambar 4.6	Pemodelan rangkaian CT2 dalam sebuah blok <i>subsystem</i> CT2.....	29
Gambar 4.7	Pemodelan trafo daya 360-ET-01	30
Gambar 4.8	Beban 2.13 MVA.....	30
Gambar 4.9	Arus <i>inrush</i> yang dimodelkan hubung singkat	31
Gambar 4.10	Elemen komparator untuk membandingkan sinyal keluaran CT1 dan CT2.....	31
Gambar 4.11	Blok sinyal RMS	33
Gambar 4.12	Sinyal arus keluaran sekunder CT1 dan CT2.....	33
Gambar 4.13	Selisih arus dari CT1 dan CT2	34
Gambar 4.14	Simulasi sistem keseluruhan saat trafo daya 360-ET-01 <i>energize</i>	35
Gambar 4.15	<i>Operating current</i> rele diferensial setelah penambahan arus transient bias dan arus bias.....	38
Gambar 4.16	Signals Routing.....	39

Gambar 4.17	Perbandingan fasa R	39
Gambar 4.18	Perbandingan fasa S	39
Gambar 4.19	Perbandingan fasa T	40
Gambar 4.20	Simulasi sistem keseluruhan saat trafo daya 360-ET- 01 <i>energize</i> dan metode transient bias	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem tenaga listrik, sistem proteksi merupakan komponen penting untuk menjaga kelangsungan dan keandalan penyaluran energi listrik. Dimana sistem proteksi ini berfungsi untuk mengisolasi gangguan agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan dan menjaga kontinuitas pelayanan pada bagian sistem tenaga listrik yang tidak mengalami gangguan. Salah satu peralatan yang berperan dalam sistem proteksi adalah rele diferensial yang digunakan untuk melindungi generator dan transformator.

Dalam kegiatan operasionalnya, Saka Indonesia Pangkah Ltd mengalami gangguan selama CT (*Current Transformers*) saturasi saat transformator daya energize dan sistem proteksi gagal mengamankan (rele diferensial generator mengalami trip). Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan penggunaan proteksi diferensial yang baik sehingga bila terjadi gangguan dapat diisolasi dan tidak mengganggu sistem bagian yang lain.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana meningkatkan stabilitas proteksi differensial selama CT saturasi di Saka Indonesia Pangkah Ltd

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. CT saturasi akibat transformator daya dienergize di Saka Indonesia Pangkah Ltd
2. Peningkatan stabilitas ditunjukkan dengan tidak terjadinya trip (rele diferensial tidak bekerja) saat trafo daya 360-ET-01 energize.
3. Metode yang digunakan adalah metode transient bias.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah memperoleh peningkatan stabilitas proteksi differensial selama CT saturasi di Saka Indonesia Pangkah Ltd

1.5 Metodologi

Pada penulisan Tugas Akhir ini metodologi yang digunakan penulis adalah:

1. Studi Literatur

Hal yang dilakukan pertama kali adalah studi literatur. Hal ini dilakukan untuk memperkuat pemahaman tentang permasalahan yang dihadapi. Literatur yang digunakan berupa buku, jurnal ilmiah (*paper*), serta beberapa *user manual* peralatan.

2. Pengumpulan Data

Hal ini dilakukan untuk memperkuat pemahaman tentang permasalahan yang dihadapi. Literatur yang digunakan berupa buku, jurnal ilmiah (*paper*) dan artikel-artikel dari internet.

3. Analisis dan simulasi

Menganalisis kondisi CT (*Current Transformers*) pada rele diferensial generator dengan cara perhitungan yang telah ditentukan. Kemudian memodelkan hasil analisis dengan menggunakan *software* MATLAB.

4. Pemecahan masalah

Dengan hasil analisis dan simulasi didapatkan pemecahan masalah kemudian diambil yang solusi yang tepat dari masalah yang terjadi.

5. Penulisan Buku Tugas Akhir

Penulisan laporan merupakan kesimpulan akhir yang dapat menggambarkan Tugas Akhir ini. Kesimpulan ini berisi analisis yang telah dilakukan penulis terhadap penggunaan pengaman diferensial dengan metode transient bias selama CT saturasi pada Saka Indonesia Pangkah Ltd.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Proteksi Diferensial pada Sistem Kelistrikan

Bab ini berkaitan dengan teori-teori yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan Saka Indonesia Pangkah Ltd

Bab ini menjelaskan mengenai kondisi yang ada pada sistem kelistrikan Saka Indonesia Pangkah Ltd

Bab 4 : Hasil Analisis dan Simulasi Proteksi Differensial Selama CT Saturasi Dengan Transient Bias di Saka Indonesia Pangkah Ltd

Bab ini memaparkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan software matlab. Bab ini juga berisi perhitungan sistem proteksi differensial dengan menggunakan parameter yang telah diperoleh dari hasil simulasi serta rekomendasi untuk mendapatkan sistem proteksi differensial yang dapat bekerja dengan baik selama CT saturasi.

Bab 5 : Kesimpulan

Merupakan kesimpulan dari keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan dari Tugas Akhir ini.

1.7 Relevansi

Dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pembelajaran dan penyelesaian persoalan CT saturasi pada proteksi diferensial. Dengan penyelesaian persoalan tersebut diharapkan memperoleh hasil yang paling optimal dan akhirnya dapat digunakan sebagai salah satu acuan atau masukan untuk penyelesaian kasus yang sama.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

PROTEKSI DIFFERENSIAL PADA SISTEM KELISTRIKAN

2.1. Generator

Generator merupakan suatu peralatan sistem tenaga listrik yang menghasilkan daya listrik. Generator didesain untuk beroperasi secara kontinyu dan mampu dioperasikan pada fluktuasi beban yang tinggi. Generator sebagai sumber energi listrik dalam sistem perlu diamankan jangan sampai mengalami kerusakan karena kerusakan generator akan sangat mengganggu jalannya operasi sistem tenaga listrik. Oleh karenanya generator sedapat mungkin harus dilindungi terhadap semua gangguan yang dapat merusak generator. Tetapi dilain pihak dari segi selektifitas pengaman sistem diharapkan agar PMT generator tidak mudah trip terhadap gangguan dalam sistem, karena lepasnya generator dari sistem akan mempersulit jalannya operasi sistem tenaga listrik. PMT generator hanya boleh bekerja apabila ada gangguan yang tepat ada di depan generator, didalam generator atau pada mesin penggerak generator. Juga apabila terjadi kegagalan dari PMT yang ada di depan PMT generator, baru PMT generator boleh bekerja. Mengingat generator merupakan peralatan yang penting dan nilainya juga cukup mahal, maka diusahakan pengaruh gangguan dibatasi sampai sekecil mungkin. Antara lain dengan mendeteksi keadaan gangguan secara tepat dan mengisolasi mesin terhadap sistem yang sehat secara cepat [1].

2.1.1 Sistem Pengaman Pada Generator

Generator membutuhkan sistem pengaman yang dapat bekerja cepat dan tepat dalam mengisolir gangguan agar tidak terjadi kerusakan fatal. Untuk generator tiga fasa dilengkapi dengan beberapa rele. Pemasangan rele-rele dimaksudkan untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan serta kerusakan yang disebabkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi dalam generator. Rele pengaman adalah suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan [1]:

- a. Memberi sinyal alarm atau melepas pemutusan tenaga (*circuit breaker*) dengan tujuan mengisolasi gangguan atau kondisi yang tidak normal seperti adanya : beban lebih, tegangan rendah, kenaikan suhu, beban tidak seimbang, daya kembali, frekuensi rendah, hubungan singkat dan kondisi tidak normal lainnya.

- b. Melepas atau mentrip peralatan yang berfungsi tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.
- c. Melepas atau mentrip peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat.
- d. Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem.
- e. Melepas peralatan atau bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem.

Prinsip kerja dari rele pengamanan pada generator [1]:

a) Rele arus lebih

Rele arus lebih digunakan untuk melindungi kerusakan akibat terjadinya hubungan singkat antar hantaran yang menuju jaring-jaring atau antar fasa. Dalam keadaan normal rele arus lebih tidak bekerja. Tetapi bila terjadi hubung singkat antar hantaran yang menuju jaring-jaring atau antar fasa maka arus yang mengalir pada fasa yang mengalami hubung singkat tersebut melebihi batas nominalnya. Dengan demikian rele arus lebih bekerja.

b) Rele tegangan lebih

Rele tegangan lebih akan bekerja bila tegangan yang dihasilkan generator melebihi batas nominalnya. Misalnya disebabkan permasalahan penguat magnit atau pengaturan penguat magnit terlalu besar sehingga mengakibatkan tegangan yang dihasilkan generator melebihi batas nominalnya. Tegangan lebih dapat dimungkinkan oleh mesin putaran lebih (*over speed*) atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis (AVR).

c) Rele differensial

Rele differensial bekerja atas dasar perbandingan tegangan atau perbandingan arus, yaitu besarnya arus sebelum lilitan stator dengan arus yang mengalir pada hantaran yang menuju jaring-jaring. Dalam keadaan normal antara keduanya mempunyai arus sama besar. Bila terjadi hubung singkat antara lilitan stator dengan rangka mengakibatkan arus antara keduanya tidak sama maka rele differensial akan bekerja. Bekerjanya rele-rele tersebut digunakan untuk membuka sakelar, misalnya sakelar utama, sakelar penguat magnit.

d) Rele daya balik

Rele daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya aktif yang masuk ke arah generator. Perubahan ini disebabkan oleh pengaruh rendahnya input dari penggerak mula generator. Bila input tidak

dapat mengatasi rugi-rugi yang ada, maka kekurangan daya dapat diperoleh dengan cara menyerap daya aktif dari sistem. Selama penguatan masih tetap, maka aliran daya reaktif generator sama halnya sebelum generator bekerja sebagai motor. Dengan demikian pada generator bekerja sebagai motor, daya aktif akan masuk ke generator, sementara itu aliran daya reaktif mungkin masuk atau mungkin juga keluar.

2.1.2 Gangguan Pada Generator

Gangguan yang mungkin muncul dalam pengoperasian generator pada suatu pembangkit listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut [2]:

a. Gangguan listrik (*electrical fault*)

Jenis gangguan ini adalah gangguan yang timbul dan terjadi pada bagian-bagian listrik dari generator. Gangguan-gangguan tersebut antara lain :

1. Hubung singkat 3 fasa

Terjadinya arus lebih pada stator yang dimaksud adalah arus lebih yang timbul akibat terjadinya hubungan singkat 3 fasa/ 3 phase fault. Gangguan ini akan menimbulkan loncatan bunga api dengan suhu yang tinggi yang akan melelehkan belitan dengan resiko terjadinya kebakaran, jika isolasi tidak terbuat dari bahan yang anti api /non-flammable.

2. Hubung singkat 2 fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa/*unbalance fault* lebih berbahaya dibanding gangguan hubung singkat 3 fasa/*balance fault*, karena disamping akan terjadi kerusakan pada belitan akan timbul pula vibrasi pada kumparan stator. Kerusakan lain yang timbul adalah pada poros/*shaft* dan kopling turbin akibat adanya momen puntir yang besar.

3. Stator hubung singkat 1 fasa ke tanah/*stator ground fault*

Kerusakan akibat gangguan 2 fasa atau antara konduktor kadang-kadang masih dapat diperbaiki dengan menyambung taping atau mengganti sebagian konduktor, tetapi kerusakan laminasi besi (*iron lamination*) akibat gangguan 1 fasa ke tanah yang menimbulkan bunga api dan merusak isolasi dan inti besi adalah kerusakan serius yang perbaikannya dilakukan secara total. Gangguan jenis ini meskipun kecil harus segera diproteksi.

4. Rotor hubung tanah/*field ground*

Pada rotor generator yang belitannya tidak dihubungkan oleh tanah (*ungrounded system*). Bila salah satu sisi terhubung ke tanah belum menjadikan masalah. Tetapi apabila sisi lainnya terhubung ke tanah, sementara sisi sebelumnya tidak terselesaikan maka akan terjadi kehilangan arus pada sebagian belitan yang terhubung singkat melalui tanah. Akibatnya terjadi ketidakseimbangan yang menimbulkan vibrasi yang berlebihan serta kerusakan fatal pada rotor.

5. Kehilangan medan penguat/*Loss of excitation*

Hilangnya medan penguat akan membuat putaran mesin naik, dan berfungsi sebagai generator induksi. Kondisi ini akan berakibat pada rotor dan pasak/*slot wedges*, akibat arus induksi yang bersirkulasi pada rotor. Kehilangan medan penguat dapat dimungkinkan oleh :

- a) Jatuhnya/trip saklar penguat (41AC) .
- b) Hubung singkat pada belitan penguat.
- c) Kerusakan kontak-kontak sikat arang pada sisi penguat.
- d) Kerusakan pada sistem AVR.

6. Tegangan lebih/*Over voltage*

Tegangan yang berlebihan melampaui batas maksimum yang diijinkan dapat berakibat tembusnya (*breakdown*) design insulasi yang akhirnya akan menimbulkan hubungan singkat antara belitan. Tegangan lebih dapat dimungkinkan oleh mesin putaran lebih/*overspeed* atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis/AVR.

b. Gangguan mekanis/panas (*mechanical/thermal fault*)

Jenis-jenis gangguan mekanik/panas antara lain :

1. Generator berfungsi sebagai motor (*motoring*)

Motoring adalah peristiwa berubah fungsi generator menjadi motor akibat daya balik (*reverse power*). Daya balik terjadi disebabkan oleh turunnya daya masukkan dari penggerak utama (*prime mover*). Dampak kerusakan akibat peristiwa motoring adalah lebih kepada penggerak utama itu sendiri. Pada turbin uap, peristiwa motoring akan mengakibatkan pemanasan lebih pada sudu-sudunya, kavitasi pada sudu-sudu turbin air, dan ketidakstabilan pada sudu turbin gas.

2. Pemanasan lebih setempat

Pemanasan lebih setempat pada sebagian stator dapat dimungkinkan oleh :

- a) Kerusakan laminasi
- b) Kendornya bagian-bagian tertentu di dalam generator seperti: pasak-pasak stator (*stator wedges*).

3. Kesalahan paralel

Kesalahan dalam memparalel generator karena syarat-syarat sinkron tidak terpenuhi dapat mengakibatkan kerusakan pada bagian poros dan kopling generator, dan penggerak utamanya karena terjadinya momen puntir. Kemungkinan kerusakan lain yang timbul, kerusakan PMT dan kerusakan pada kumparan stator akibat adanya kenaikan tegangan sesaat.

4. Gangguan pendingin stator

Gangguan pada media sistem pendingin stator (pendingin dengan media udara, hidrogen, atau air) akan menyebabkan kenaikan suhu belitan stator. Apabila suhu belitan melampaui batas ratingnya akan berakibat kerusakan belitan.

c. Gangguan sistem (*system fault*)

Generator dapat terganggu akibat adanya gangguan yang datang/terjadi pada sistem. Gangguan-gangguan sistem yang terjadi umumnya adalah :

1. Frekuensi operasi yang tidak normal (*abnormal frequency operation*)

Perubahan frekuensi keluar dari batas-batas normal di sistem dapat berakibat ketidakstabilan pada turbin generator. Perubahan frekuensi sistem dapat dimungkinkan oleh tripnya unit-unit pembangkit atau penghantar (transmisi).

2. Lepas sinkron (*Loss of synhron*)

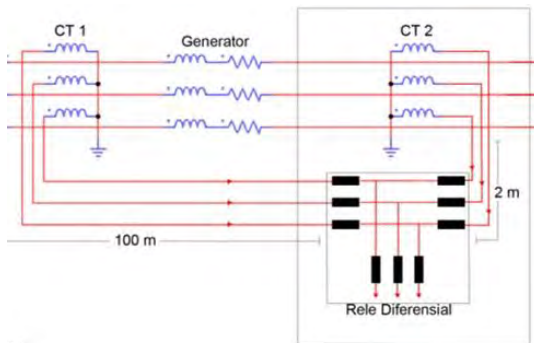
Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak, switching, hubung singkat dan peristiwa yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Apabila peristiwa ini cukup lama dan melampaui batas-batas ketidakstabilan generator, generator akan kehilangan kondisi paralel. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi yang keluar dari seharusnya sehingga akan menyebabkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluktuasi serta resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

3. Arus beban kumparan yang tidak *seimbang* (*unbalance armature current*)

Pembebanan yang tidak seimbang pada sistem/adanya gangguan 1 fasa dan 2 fasa pada sistem yang menyebabkan beban generator tidak seimbang yang akan menimbulkan arus urutan negatif. Arus urutan negatif yang melebihi batas, akan mengiduksikan arus medan yang berfrekuensi rangkap yang arahnya berlawanan dengan putaran rotor akan menyebabkan adanya pemanasan lebih dan kerusakan pada bagian-bagian konstruksi rotor.

2.2 Rele Diferensial Generator

Rele differensial merupakan suatu rele yang prinsip kerjanya berdasarkan kesimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus terpasang pada terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Penggunaan rele diferensial sebagai rele pengaman, antara lain pada generator, transformator daya, *busbar*, dan saluran transmisi. Rele ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat [3].



Gambar 2.1 Proteksi diferensial pada generator

2.2.1 Prinsip Kerja Dari Rele Diferensial

Proteksi rele diferensial bekerja dengan prinsip keseimbangan arus (*current balance*). Prinsip ini berdasarkan hukum *kirchhoff* yaitu membandingkan jumlah arus masuk ke primer (I_p) sama dengan jumlah arus yang keluar dari sekunder (I_s).

$$I_{\text{diferensial}} = I_d = |I_p + I_s| \quad (2.1)$$

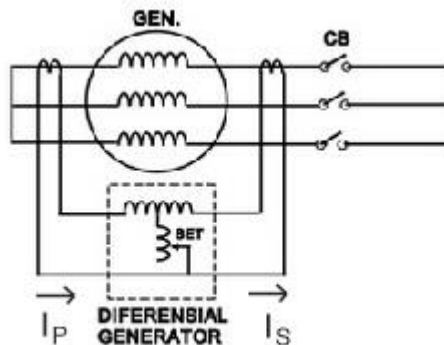
Dimana:

I_d = Arus Diferensial (A)

I_p = Arus Sisi Masuk (A)

I_s = Arus Sisi Keluar (A)

Gambar 2.2 menunjukkan rele diferensial dalam keadaan arus normal, dimana I_p dan I_s sama besar dan berlawanan arah.



Gambar 2.2 Rele Diferensial Saat Arus Normal

$$I_d = I_p + I_s = 0 \text{ Ampere}$$

$$I_{dif} = I_p + I_s = 0 \text{ Ampere}$$

Maka tidak ada tegangan yang melintasi *coil relay* dan tidak ada arus yang mengalir pada rele tersebut, sehingga rele diferensial tidak bekerja [4].

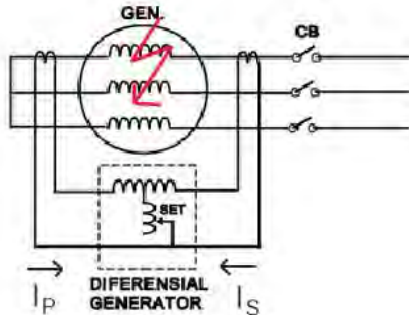
2.2.2 Gangguan Didalam Daerah yang Dilindungi

Untuk gangguan didalam (internal) daerah proteksi rele differensial (diantara kedua trafo arus), I_p dan I_s searah.

$$I_d = I_p + I_s > 0 \text{ Ampere}$$

$$I_{dif} = I_p + I_s > 0 \text{ Ampere}$$

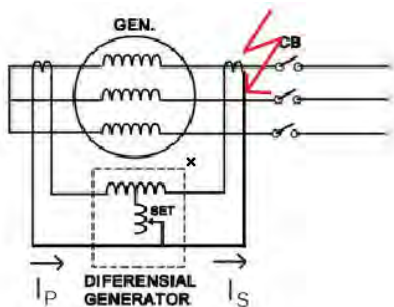
Karena arus akan menuju titik gangguan, sehingga rele differensial akan bekerja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rele Differensial Saat Gangguan Internal

2.2.3 Gangguan Diluar Daerah yang Dilindungi

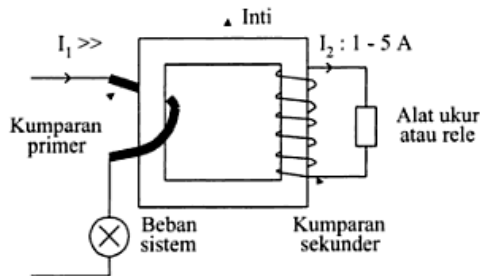
Pada gangguan diluar (eksternal) daerah proteksi relai diferensial (diluar kedua trafo arus), relai diferensial tidak akan bekerja, karena I_p dan I_s sama besar dan berlawanan arah ($I_d = I_p + I_s = 0 \text{ Ampere}$, $I_{dif} = I_p + I_s = 0 \text{ Ampere}$), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rele Differensial Saat Gangguan Eksternal

2.3 Transformator Arus (*Current Transformer*)

Transformator arus / *Current Transformer* (CT), digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere lebih yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Jika arus yang mengalir pada tegangan rendah dan besarnya dibawah 5 ampere, maka pengukuran dapat dilakukan secara langsung sedangkan untuk arus yang mengalir besar, maka harus dilakukan pengukuran secara tidak langsung dengan menggunakan transformator arus. Disamping itu transformator arus berfungsi juga untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan rele proteksi. Kumparan primer transformator dihubungkan secara seri dengan rangkaian atau jaringan yang akan diukur arusnya sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau dengan rele proteksi [5].



Gambar 2.5 Rangkaian Kontruksi Transformator Arus

Prinsip kerja transformator arus sama dengan transformator daya satu fasa. Bila pada kumparan primer mengalir arus I_1 , maka pada kumparan timbul gaya gerak magnet sebesar $N_1 I_1$. Gaya gerak ini memproduksi fluks pada inti, dan fluks akan membangkitkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder.

Bila terminal kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus I_2 . Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet $N_2 I_2$ pada kumparan sekunder. Pada transformator arus biasa dipasang beban pada bagian sekunder yang berfungsi sebagai impedansi beban, sehingga transformator tidak benar-benar short circuit. Apabila transformator adalah transformator ideal, maka berlaku persamaan :

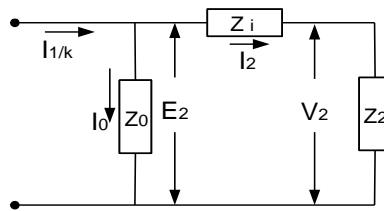
$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (2.2)$$

$$I_1/I_2 = N_2/N_1 \quad (2.3)$$

Keterangan :

- N_1 : Jumlah belitan kumparan primer
 N_2 : Jumlah belitan kumparan sekunder
 I_1 : Arus kumparan primer
 I_2 : Arus kumparan sekunder

2.3.1 Rangkaian Ekivalen Transformator Arus



Gambar 2.6. Rangkaian Ekivalen Transformator Arus

Tegangan pada terminal sekunder (V_2) tergantung pada impedansi peralatan (Z_2) yang terhubung pada terminal sekunder dan dapat dituliskan persamaan sebagai berikut [5]:

$$V_2 = I_2 \times Z_2 \quad (2.4)$$

Jika tahanan dan reaktansi bocor kumparan trafo dinyatakan dalam impedansi internal Z_i , maka gaya gerak listrik pada kumparan sekunder harus lebih besar daripada tegangan sekunder agar rugi-rugi tegangan pada impedansi Z_i dapat dikompensasi. Oleh karena itu, persamaan di bawah ini harus dipenuhi :

$$E_2 - V_2 = E_2 - I_2 \times Z_2 = I_2 \times Z_i \quad (2.5)$$

Atau

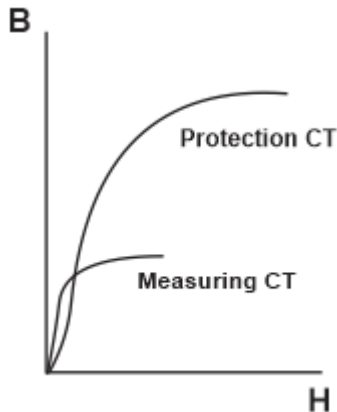
$$E_2 = I_2 (Z_2 + Z_i). \quad (2.6)$$

2.3.2. Karakteristik Saturasi Transformator Arus

Transformator arus dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Perbedaan mendasar pada kedua pemakaian diatas adalah pada kurva magnetisasinya.

Kurva magnetasi ini menunjukkan sifat saturasi dari transformator arus. Hal ini perlu diperhatikan, bila transformator arus bekerja pada

daerah saturasi maka akan terjadi kesalahan dalam kinerja. Yaitu kesalahan membaca arus yang mengalir melalui transformator arus. Ini bisa mempengaruhi keandalan kinerja dari sistem proteksi yang diterapkan.



Gambar 2.7 Kurva magnetisasi Untuk Pengukuran dan Proteksi

Sumbu horisontal mewakili kekuatan atau intensitas medan magnetik (Magnetic Field Intensity, H). Sumbu vertikal mewakili kerapatan medan magnetik (Magnetic Field Density, B).

Transformator arus untuk pengukuran harus memiliki titik saturasi yang rendah. Kenaikan intensitas medan magnetik H mengakibatkan kenaikan yang sangat signifikan pada kenaikan kerapatan medan magnetik B . Selanjutnya, kenaikan kerapatan medan magnetik B sangat kecil walaupun intensitas medan magnetik terus dinaikan. Kondisi dimana kerapatan medan magnetik tidak banyak berubah ketika intensitas medan magnetik ditingkatkan disebut kondisi saturasi atau jenuh.

Transformator arus penggunaan proteksi, harus memiliki titik saturasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan transformator arus untuk pengukuran. Transformator Arus untuk proteksi dirancang sedemikian rupa sehingga tegangan kerapatan medan magnetik B (Magnetic Field Density) akan mulai jenuh ketika intensitas medan magnetiknya (magnetic Field intensity, H) jauh lebih besar dari kelas pengukuran [7].

2.4. Burden

Burden transformator adalah nilai semua impedansi yang ditemukan pada rangkaian sekunder transformator arus. *Burden* dinyatakan dalam VA atau dinyatakan dalam Ohm. Dalam suatu rangkaian pengaman differensial umumnya ada 3 jenis *burden* yang terhubung dengan transformator arus yaitu *burden* dari CT itu sendiri, penghantar, dan *burden* dari rele differensial. *Burden* dari penghantar yang dimaksud di sini adalah penghantar yang menghubungkan anatar sekunder CT dan unit rele differensial. Besarnya dapat diketahui dengan mencari nilai impedansi penghantar persatuan panjang dan dikalikan dengan panjang penghantar tersebut. Sedangkan *burden* rele tergantung dari rele tersebut.

Berikut adalah nilai *burden* pada rele dan untuk berbagai rasio CT:

Tabel 2.1. Burden rele pada arus nominal

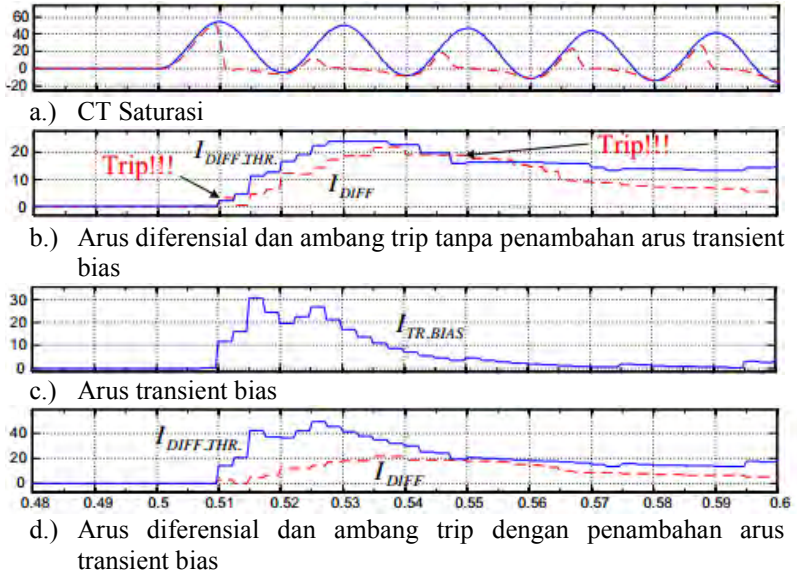
Jenis Rele	Burden (VA)
Rele arus lebih	2
Rele arus lebih waktu terbalik	1,5-5
Rele arus balik	1,8
Rele daya balik	0,07-3,5
Rele daya	0,23 – 11,5
Rele diferensial	0,8 – 6
Rele jarak	2 – 2,5

Tabel 2.2. Standar Burden untuk berbagai rasio CT

Rasio Arus	Secondary Turns	Resistansi Sekunder (Ohms)
50:5	10	0.045
100:5	20	0.065
150:5	30	0.091
200:5	40	0.114
250:5	50	0.137
300:5	60	0.160
400:5	80	0.206
450:5	90	0.229
500:5	100	0.252
600:5	120	0.298

2.5. Transient Bias

Metode ini digunakan untuk meningkatkan batas ambang trip dari rele diferensial ($I_{DIFF,THR}$). Dimana peningkatan ambang trip diperoleh dari penambahan arus bias (I_{BIAS}) dan arus transient bias ($I_{TR,BIAS}$) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 sebagai berikut [8]:



Gambar 2.8 Peningkatan Kestabilan Akibat Transient Bias saat kondisi CT saturasi: (a) CT Saturasi, (b) Arus diferensial dan ambang trip tanpa penambahan arus transient bias, (c) Arus transient bias, dan (d) Arus diferensial dan ambang trip dengan penambahan arus transient bias

Dari gambar 2.7 dapat dilihat pengaruh penambahan arus transient bias terhadap batas ambang trip dari rele diferensial. Dimana arus transient bias ($I_{TR,BIAS}$) didasarkan pada algoritma :

$$\Delta I_{DIFF}(n) = I_{DIFF}(n) - I_{DIFF}(n-1) \quad (2.7)$$

$$\Delta I_{BIAS}(n) = I_{BIAS}(n) - I_{BIAS}(n-1) \quad (2.8)$$

$$R = \Delta I_{DIFF}(n) / \Delta I_{BIAS}(n) \quad (2.9)$$

$$\text{If } R < K_i \text{ and } \Delta I_{BIAS}(n) > 0 \quad (2.10)$$

$$I_{TR,BIAS}(n) = D. I_{TR,BIAS}(n-1) + S. \Delta I_{BIAS}(n) \quad (2.11)$$

else

$$I_{TR,BIAS}(n) = D \cdot I_{TR,BIAS}(n - 1) \quad (2.12)$$

$$(I_{DIFF,THR}) \text{ baru} = (I_{TR,BIAS}) + (I_{BIAS}) + (I_{DIFF,THR}) \text{ lama} \quad (2.13)$$

$$I_{BIAS} = 1/2 (|I_1| + |I_2|)$$

Dimana :

I_{DIFF} adalah arus diferensial. I_{BIAS} adalah arus bias. K adalah nilai dari *slope* yang nilainya arus diferensial dibagi arus bias. S adalah *scaling coefficient*. D adalah *decay coefficient*.

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN

SAKA INDONESIA PANGKAH LTD

3.1. Sistem Kelistrikan Saka Indonesia Pangkah Ltd

Saka Indonesia Pangkah Ltd adalah perusahaan minyak dan gas berkembang pesat di Indonesia dan dimiliki oleh PT Saka Energi Indonesia, anak perusahaan hulu perusahaan distribusi gas milik negara PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk. Saka Indonesia Pangkah Ltd yang bergerak di bidang eksplorasi dan produksi minyak dan gas di Blok Ujung Pangkah Jawa Timur. Pada 4 Januari 2014, Saka Indonesia Pangkah BV (anak perusahaan dari PT Saka Energi Indonesia) mengakuisisi 100% kepemilikan di Hess Pangkah LLC dan Hess Indonesia (Pangkah) Limited. Sejak 16 Januari 2014, Hess Indonesia (Pangkah) Limited resmi berubah menjadi Saka Indonesia Pangkah Ltd dan Hess Pangkah LLC namanya menjadi Saka Pangkah LLC.

Untuk sistem tenaga listrik di Saka Indonesia Pangkah Ltd sendiri merupakan sistem tenaga listrik terpisah dari PLN. Dimana dalam kegiatan produksi, Saka Indonesia Pangkah Ltd menggunakan generator yang berjumlah 3 unit. Generator yang digunakan adalah generator PLTUD (Pembangkit Listrik Tenaga Uap Diesel). Kapasitas daya terpasang tiap unit generator adalah 4,3 MW, sehingga daya total generator adalah 12,9 MW. Tegangan terbangkit tiap unit generator adalah 11 kV. Tegangan 11 kV ini kemudian diturunkan oleh trafo daya 5 MVA (360-ET-01 dan 360-ET-02) menjadi tegangan 6,6 kV. Kemudian diturunkan menjadi 0,4 kV oleh trafo daya 3 MVA (360-ET-03, 04, 05, 06, 07 dan 08). Terdapat satu generator lagi yang terhubung dengan bus 0,4 kV yaitu generator 361-EG-01. Daya keluaran generator tersebut adalah 0,656 MW dan digunakan sebagai generator cadangan saat kondisi darurat.

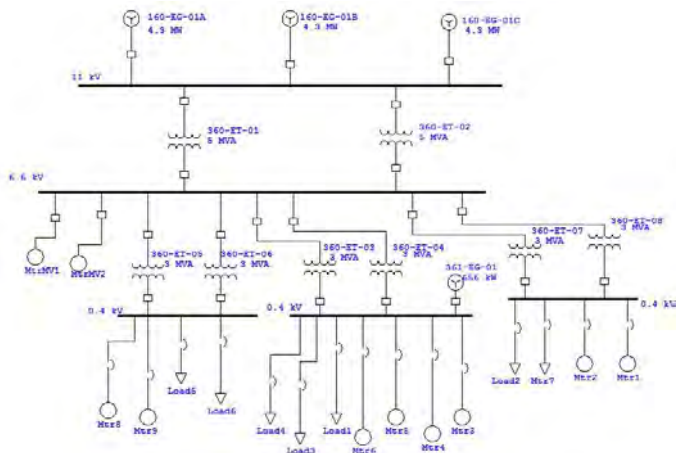
3.2. Data Peralatan

Data peralatan sistem tenaga listrik di Saka Indonesia Pangkah Ltd secara umum adalah sebagai berikut :

1. Generator (160-EG-01A, 160-EG-01B, dan 160-EG-01C) dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - Rating daya = 4,3 MW
 - Tegangan generator = 11 kV

- Frekuensi = 50 Hz
 - Faktor Daya = 0,8
 - $X_d'' = 18 \%$
 - $X_d' = 29,8 \%$
2. Generator 361-EG-01 (Generator Cadangan) dengan spesifikasi sebagai berikut :
- Rating daya = 0,656 MW
 - Tegangan generator = 0,4 kV
 - Frekuensi = 50 Hz
 - Faktor Daya = 0,8
 - $X_d'' = 15 \%$
 - $X_d' = 22 \%$
3. Trafo daya (360-ET-01 dan 360-ET-02) dengan spesifikasi sebagai berikut :
- Rating daya = 5 MVA
 - Tegangan primer = 11 kV
 - Tegangan sekunder = 6,6 kV
 - Konfigurasi = Dyn 11
 - Sistem pendingin = ONAN (Oil Natural Air Natural)
4. Trafo daya (360-ET-03, 04, 05, 06, 07 dan 08) dengan spesifikasi sebagai berikut :
- Rating daya = 3 MVA
 - Tegangan primer = 6,6 kV
 - Tegangan sekunder = 0,4 kV
 - Konfigurasi = Dyn 11
 - Sistem pendingin = ONAN (Oil Natural Air Natural)
5. Beban eksisting :
- Beban yang terhubung dengan bus 6,6 kV (360-ES-01) yaitu motor dan beban statis
 - Beban yang terhubung dengan bus 0,4 kV (360-ES-02, 360-ES-03, dan 360-ES-04) yaitu motor dan beban statis

Data beban diambil dari data *Single Line Diagram* Saka Indonesia Pangkah Ltd dengan nilai beban sebesar 60 % beban penuh. Hal ini dikarenakan kondisi pembebanan di lapangan adalah rata-rata sebesar 60 % beban penuh. *Single Line Diagram* sistem tenaga listrik PT. Saka Indonesia Pangkah Ltd secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.1.

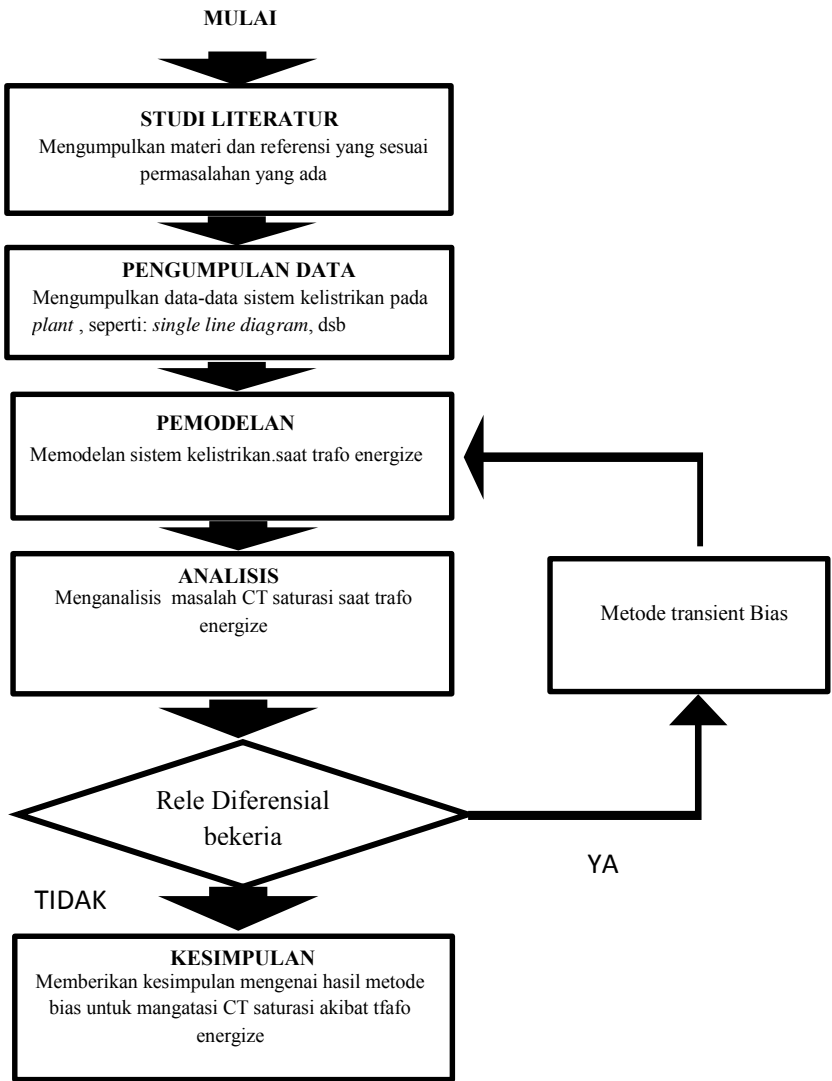


Gambar 3.1. *Single Line Diagram* sistem tenaga listrik Saka Indonesia Pangkah Ltd

3.3. Permasalahan CT (Current Transformer) Saturasi di Saka Indonesia Pangkah Ltd

Kondisi di lapangan Saka Indonesia Pangkah Ltd menunjukkan bahwa rele diferensial dari generator 160-EG-01A (11kV, 4,3 MW) mengalami trip saat meng-energize trafo daya 360-ET-01 (11kV/6,6kV, 5MVA). Akibatnya generator 160-EG-01A terputus dari sistem. Pada saat terjadi arus *inrush* dari trafo daya 360-ET-01 sebesar 15 kali arus nominal [2], arus yang terbaca pada CT berada pada wilayah saturasi dan menyebabkan adanya selisih arus yang besar yang melewati rele diferensial generator dan dibaca sebagai arus gangguan atau *fault*, sehingga rele diferensial generator akan memberi instruksi agar CB terbuka dan akhirnya generator terputus dari sistem. *Operating current* dari rele sendiri nilainya bervariasi mulai dari 10% sampai 50% dari arus sekunder CT. *Operating current* adalah arus yang dibutuhkan agar rele bisa bekerja. Rele diferensial generator di Saka Indonesia Pangkah Ltd di-set untuk bekerja dengan *operating current* 12,5% arus nominal

CT. Sehingga untuk rasio CT 400/5, arus sekunder yang dibutuhkan agar rele bekerja adalah sebesar 0,625 A.



Gambar 3.2 Flowchart penyelesaian masalah CT saturasi

BAB 4

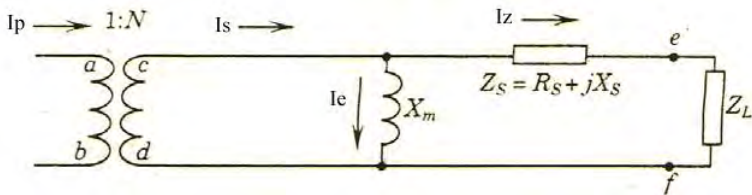
HASIL ANALISIS DAN SIMULASI

4.1. Performansi CT dengan Kurva Eksitasi Sekunder ANSI/IEEE Std 242-1986

Akurasi atau performansi dari sebuah CT dapat diketahui dengan menggunakan kurva eksitasi sekunder yang diambil dari ANSI/IEEE Std 242-1986 [4].

Untuk menganalisis performansi CT maka dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menghitung burden total dari sekunder transformator arus yang terdiri dari *burden* CT itu sendiri, penghantar atau impedansi kabel yang menghubungkan CT, rele, dan peralatan lain yang mungkin terhubung.
2. Menghitung tegangan sekunder CT (tegangan eksitasi sekunder CT) berdasarkan nilai arus yang mengalir pada *burden* dari sekunder CT. Nilai arus yang dihasilkan CT tergantung dari arus yang mengalir dari primer CT. Sedangkan arus yang terbaca pada primer CT tergantung dari arus yang mengalir pada jaringan tersebut.



Gambar 4.1. Rangkaian Ekvivalen CT

Keterangan :

I_p = Arus Primer CT

N = Rasio CT

I_s = Arus sekunder

I_e = Arus Eksitasi

I_z = Arus yang lewat *burden*

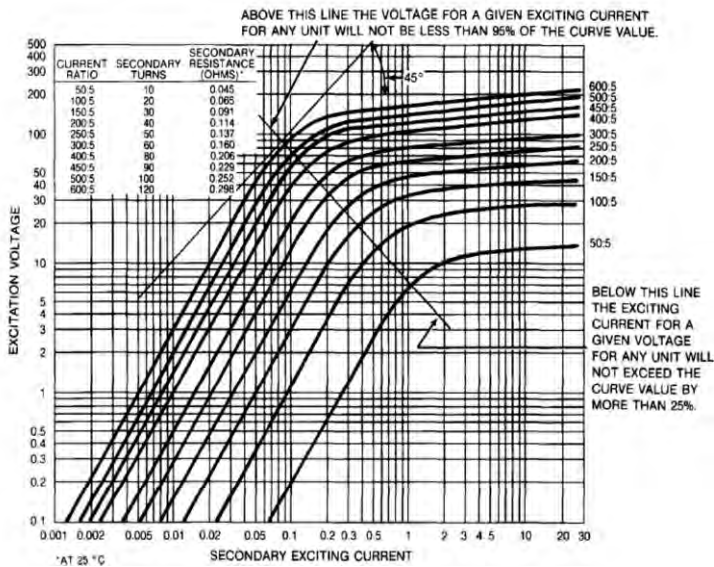
Z_s = Impedansi sekunder CT

Z_L = *Burden* yang terhubung pada sekunder CT

X_m = Komponen eksitasi

- Menghitung arus eksitasi sekunder berdasarkan tegangan yang dihasilkan pada terminal sekunder CT. Nilai arus eksitasi berdasarkan tegangan eksitasi sekunder untuk berbagai rasio CT, dapat dilihat pada Gambar 4.1. Arus eksitasi tidak ditransformasi menjadi arus keluaran CT, sehingga arus eksitasi menyebabkan adanya nilai *error* pada CT. Besarnya arus eksitasi setiap CT berbeda tergantung dari material inti dan besarnya fluks yang dibutuhkan agar keluaran transformator dapat terpenuhi. Karena itu perlu diketahui besarnya persen rasio *error* dari tiap CT yang merupakan perbandingan dari arus eksitasi dan arus sekunder CT.

$$\text{Persen rasio error} = \frac{I_e}{I_s} \times 100\%$$



Gambar 4.2. Kurva eksitasi sekunder untuk berbagai rasio (ANSI/IEEE Std 242-1986)

4.1.1. Performansi CT Saat Terjadi Arus *Inrush* dari Trafo Daya

Pada saat transformator daya 360-ET-01 (5 MVA) energize berarti transformator daya terhubung dengan sistem. Pada saat itu timbul arus *inrush* yang sangat besar dan tercatat mencapai 15 kali dari arus nominal transformator. Secara teori, besarnya arus sekunder CT akibat kondisi *inrush* dapat dicari melalui perhitungan berikut :

- Arus nominal transformator daya 5 MVA :

$$I_n = \frac{5 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 11 \text{ kV}} = 262.43 \text{ A}$$

- Arus primer CT :

$$I_{p_{ct}} = I_n = 262.43 \text{ A}$$

Ketika terjadi arus *inrush* sebesar 15 kali, maka :

$$262.43 \times 15 = 3936.45 \text{ A}$$

$$I_{s_{ct}} = \frac{5}{400} \times 3936.45 = 49.21 \text{ A}$$

Sehingga arus sekunder yang melalui CT saat terjadi arus *inrush* adalah sebesar 49.21 A. Performansi dari CT rele diferensial generator dapat dianalisis melalui perhitungan berikut :

- Rasio CT1 and CT2 : 400/5, secondary resistance: 0.206 Ω *
- Panjang Kabel yang menghubungkan CT 1 adalah 400 m
- Panjang Kabel yang menghubungkan CT 2 adalah 2 m
- Impedansi Kabel CT1 : 3.578 Ω **
- Impedansi Kabel CT2 : 0.0178 Ω **
- *Burden* Rele : 0.025 VA.

*Data secondary resistance didapat dari ANSI/IEEE Std 242-1986

**Impedansi kabel CT diambil dari *handbook* kabel, dengan diameter kabel 4 mm²

1. Perhitungan CT1

- Menghitung *Burden* sekunder CT

$$\text{Relay, } Z_{\text{relay}} = \frac{0.025}{49.21^2} = 1.03 \times 10^{-5} \Omega$$

$$\text{Cable, } Z_{\text{cable}} = 3.578 \Omega$$

$$\text{Secondary Resistance CT, } Z_{CT} = 0.206 \Omega$$

$$Z_{\text{total}} = Z_{\text{relay}} + Z_{\text{cable}} + Z_{CT} = 1.03 \times 10^{-5} + 3.578 + 0.206 = 3.784 \Omega$$

- Menentukan tegangan sekunder CT dan tegangan yang dihasilkan adalah $V = I \times Z = 49.21 \times 3.784 = 186.19 \text{ V}$
- Menghitung arus eksitasi sekunder berdasarkan tegangan yang dihasilkan pada terminal sekunder CT yaitu saat tegangan

eksitasi 111.72 V. Pada saat tegangan tersebut menunjukkan bahwa CT telah beroperasi di wilayah saturasi. Pada wilayah saturasi, keakuratan CT akan menjadi sangat lemah. Oleh karena itu diambil nilai arus eksitasi yang paling tinggi yaitu 30 A untuk mempermudah menghitung persen rasio *error* CT.

- Maka bisa dihitung persen rasio *error* :

$$\frac{I_{e \text{ ct}}}{I_{s \text{ ct}}} \times 100\% = \frac{30}{49.21} \times 100\% = 61 \%$$

Dan dapat dihitung I_z yaitu arus yang diterima ke relay :

$$I_z = 49.21 - 30 = 19.21 \text{ A}$$

2. Perhitungan CT2

- Menghitung *Burden* sekunder CT

$$\text{Relay, } Z_{\text{relay}} = \frac{0.025}{49.21^2} = 1.03 \times 10^{-5} \Omega$$

$$\text{Cable, } Z_{\text{cable}} = 3.578 \Omega$$

$$\text{Secondary Resistance CT, } Z_{\text{CT}} = 0.206 \Omega$$

$$Z_{\text{total}} = Z_{\text{relay}} + Z_{\text{cable}} + Z_{\text{CT}} = 1.03 \times 10^{-5} + 0.0178 + 0.206 = 0.2238 \Omega$$

- Menentukan tegangan sekunder CT dan tegangan yang dihasilkan adalah $V = I \times Z = 49.21 \times 0.2238 = 11 \text{ V}$
- Menghitung arus eksitasi sekunder berdasarkan tegangan yang dihasilkan pada terminal sekunder CT yaitu saat tegangan eksitasi 11 V maka berdasarkan kurva eksitasi sekunder didapat arus eksitasi CT disekitar 0.05 A

Maka bisa dihitung persen rasio *error* :

$$\frac{I_{e \text{ ct}}}{I_{s \text{ ct}}} \times 100\% = \frac{0.05}{49.21} \times 100\% = 0.1 \%$$

Dan dapat dihitung I_z yaitu arus yang diterima ke relay :

$$I_z = 49.21 - 0.05 = 49.16 \text{ A}$$

Dengan demikian, dari data perhitungan CT1 dan CT2 akan memiliki perbedaan pembacaan $I_z = 29.95 \text{ A}$ ($49.16 \text{ A} - 19.21 \text{ A}$), arus tersebut melebihi dari *operating current* sebesar 0.625 yang ada di sisi sekunder. Hal ini menyebabkan rele diferensial bekerja dan CB terbuka sehingga suplai daya ke beban terputus.

4.2. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan maksud mengetahui apakah hasil perhitungan yang sudah dilakukan hasilnya cukup akurat

atau tidak. Dalam melakukan simulasi program yang digunakan adalah MATLAB. Langkah-langkah yang dilakukan dalam simulasi ini adalah pertama membuat model peralatan yang berhubungan atau berpengaruh terhadap rele diferensial generator. Kemudian dilakukan simulasi peralatan dalam kondisi normal dan kondisi trafo daya 360-ET-01 energize.

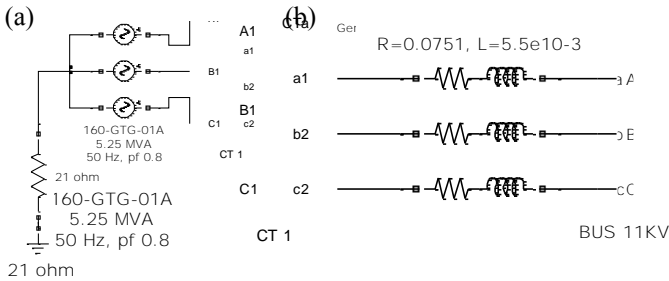
Dari simulasi yang dilakukan kemudian dilihat sinyal arus keluaran dari 2 CT dalam pengaman diferensial generator. Sinyal arus keluaran kedua CT tersebut kemudian dihitung selisihnya. Selisih arus tersebut adalah arus yang terbaca pada rele diferensial generator, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan yang sudah dilakukan.

4.2.1. Pemodelan dan Simulasi Saat Trafo Daya Energize

Sistem yang disimulasikan saat transformator daya *energize* terdiri dari generator, current transformer, trafo daya 360-ET-01, beban yang terhubung dengan trafo daya 360-ET-01, dan gangguan 3 fasa ke tanah. Dari keseluruhan sistem dalam simulasi dapat dibagi dalam beberapa bagian yaitu :

1. Generator

Generator yang disimulasikan di sini adalah generator 160-EG-01A. Generator tersebut menggunakan sumber AC 3 fasa dengan tegangan *phase to phase* 11kV. Daya keluaran generator adalah 5.25 MVA dengan frekuensi 50 Hz dan faktor daya 0.8. untuk kumparan generator digunakan rangkaian pengganti berupa inductor dan resistor yang dihubungkan seri.

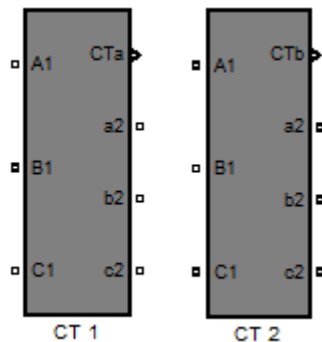


Gambar 4.3. Sumber AC generator (a), nilai resistansi dan induktansi kumparan generator (b)
Data dari generator dalam simulasi ini disesuaikan dengan data single line diagram PT. Saka Indonesia Pangkah Ltd.

Kumparan generator dihubungkan *wye* dan netral ditanahkan dengan tahanan pentanahan sebesar 21 ohm.

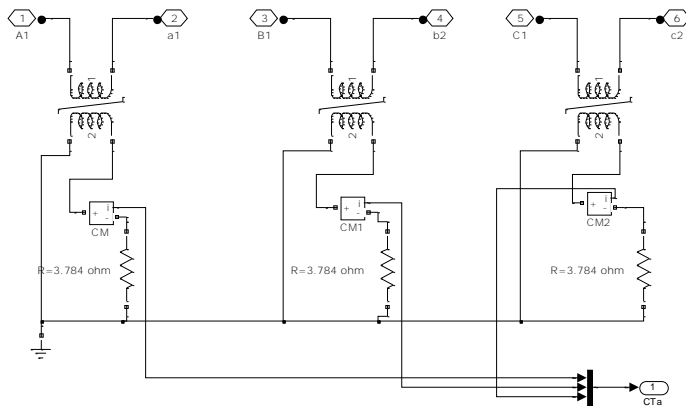
2. Transformator Arus (CT)

Trafo arus yang dimodelkan dalam simulasi seperti Gambar 4.4 berupa sebuah blok *subsystem* yang mempunyai masukan A1, B1, dan C1. sedangkan keluarannya adalah port a2, b2, dan c2. keluaran sinyal yang ditampilkan pada *scope* 1 terdapat pada port CT.

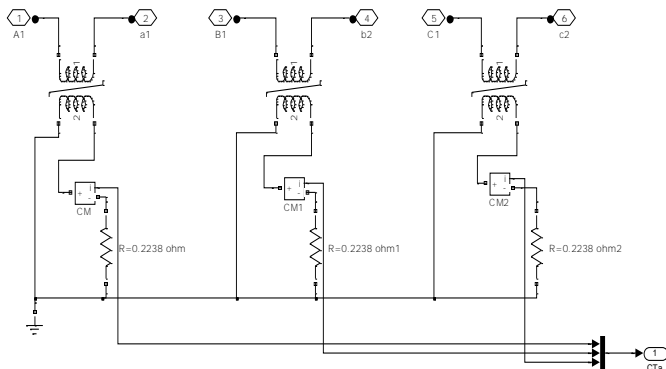


Gambar 4.4. Pemodelan CT1 dan CT2

Blok *subsystem* tersebut terdapat permodelan sederhana dari sebuah CT. Di mana dalam sebuah blok CT terdiri dari 3 buah CT yang terhubung dengan tiap fasa dari generator. Yang membedakan dari CT1 dan CT2 adalah nilai R yang terhubung dengan sekunder CT. nilai R di sini menyatakan *burden* total yang terhubung dengan sekunder CT. Jadi untuk CT1 dan CT2 nilai R-nya berbeda karena besarnya *burden* juga berbeda. Sesuai dengan hasil perhitungan yang sudah dilakukan didapat nilai R untuk CT1 = 3.784 ohm dan nilai untuk CT2 = 0.2238 ohm.



Gambar 4.5. Pemodelan rangkaian CT1 dalam sebuah blok *subsystem* CT1

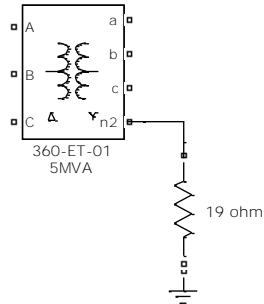


Gambar 4.6. Pemodelan rangkaian CT2 dalam sebuah blok *subsystem* CT2

3. Trafo Daya 360-ET-01 (5 MVA)

Trafo daya yang digunakan dalam simulasi ini adalah 3 fasa dengan data yang disesuaikan pada single line diagram sebagai berikut :

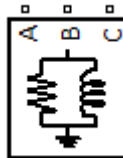
- Rating daya = 5 MVA
- Tegangan primer = 11 kV
- Tegangan sekunder = 6,6 kV
- Tahanan pentanahan = 19 Ohm



Gambar 4.7. Pemodelan trafo daya 360-ET-01

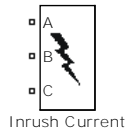
4. Beban

Dalam simulasi MATLAB ini beban yang akan digunakan adalah suatu beban seimbang berupa beban RL yang mewakili beban motor dan beban statis. Beban ini terhubung dengan trafo daya 360-ET-01 (5 MVA). Nilai total semua beban kontinyu yang tercatat pada sistem tenaga listrik di PT. Saka Indonesia Pangkah Ltd adalah sebesar 2.13 MVA. Nilai ini adalah nilai 60% dari total beban penuh, karena kondisi sebenarnya pembebanan di PT. Saka Indonesia Pangkah Ltd adalah 60% dari beban penuh



Gambar 4.8. Beban 2.13 MVA

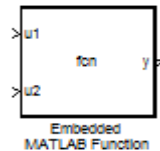
5. Arus *inrush* di sini adalah arus *inrush* yang terjadi akibat trafo daya 360-ET-01 energize. Untuk simulasi pada MATLAB ini, arus *inrush* dimodelkan dengan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Bentuk sinyal arus yang dihasilkan pada sekunder CT tampak seperti pada Gambar 4.9. Bentuk arus sekunder tersebut tidak simetri dikarenakan pengaruh karakteristik dari model hubung singkat tiga fasa ke tanah.



Gambar 4.9. Arus *inrush* yang dimodelkan hubung singkat

6. Perbandingan Arus

Bagian dalam simulasi ini yang digunakan untuk mengetahui selisih arus yang terbaca pada CT1 dan CT2 menggunakan sebuah fungsi yaitu *Embedded MATLAB function*. Fungsi ini sebagai komparator dimana membandingkan arus pembacaan CT untuk tiap fasa a,b, dan c dan sinyal keluarannya kemudian dilewatkan komparator.



Gambar 4.10. Elemen komparator untuk membandingkan sinyal keluaran CT1 dan CT2

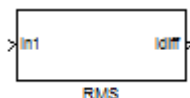
Prinsip dari komparator ini untuk menjadikan sinyal keluaran tiap fasa dari CT yang masuk ke u1 dan u2 bernilai positif. Kemudian sinyal yang sudah bernilai positif dihitung selisihnya dari tiap fasa. Misalnya untuk fasa a dari CT1 dikurangi fasa a dari CT2 begitu juga untuk fasa lainnya. *Listing* program fungsi komparator adalah sebagai berikut :

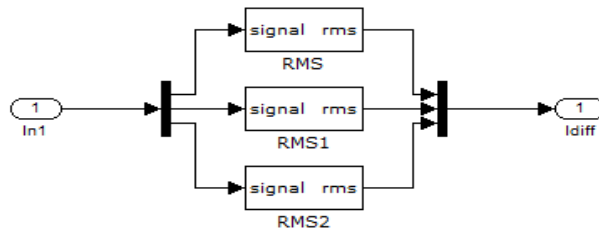
```

function y = fcn(u1,u2)
a=abs(abs(u1(1))-abs(u2(1)));
    if u1(1)>=0
        r=a;
    else
        r=-1*a;
    end
b=abs(abs(u1(2))-abs(u2(2)));
    if u1(2)>=0
        s=b;
    else
        s=-1*b;
    end
c=abs(abs(u1(3))-abs(u2(3)));
    if u1(3)>=0
        t=c;
    else
        t=-1*c;
    end
y = [r s t];

```

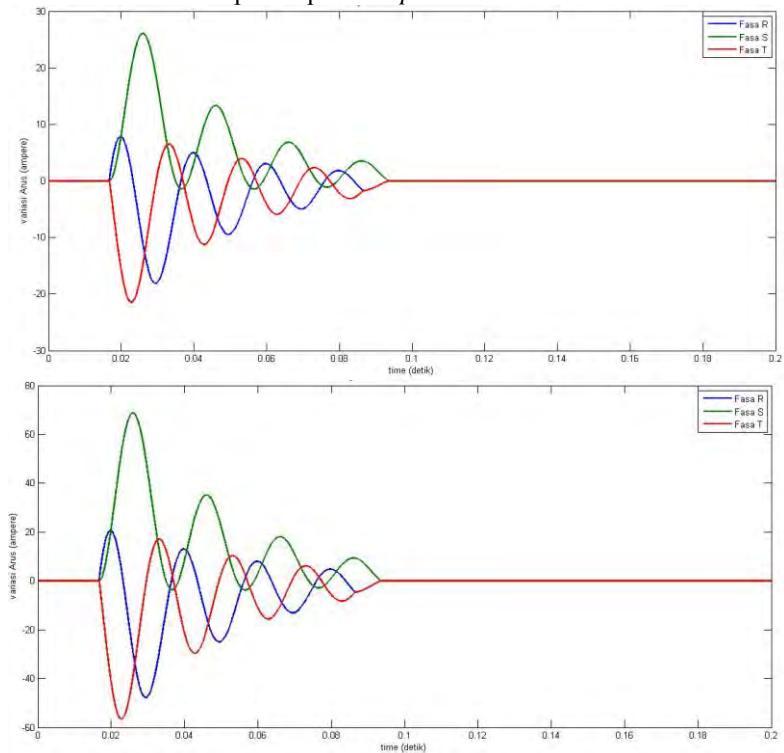
Setelah semua fasa dihitung selisihnya, kemudian hasil sinyalnya diubah menjadi sinyal RMS oleh blok pada Gambar 4.11. Blok tersebut terdiri dari 3 buah blok sinyal RMS karena sinyal yang diubah adalah sinyal 3 fasa yaitu fasa a,b, dan c. kemudian sinyal arus yang sudah diubah menjadi arus RMS ditampilkan pada *scope* 2 (Gambar 4.13).



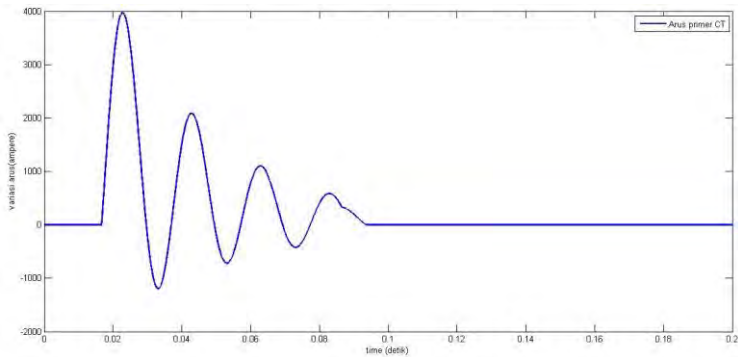


Gambar 4.11. Blok sinyal RMS

Sinyal hasil pembacaan sekunder CT1 dan CT2 merupakan pembacaan rele diferensial ditampilkan pada *scope 1*.



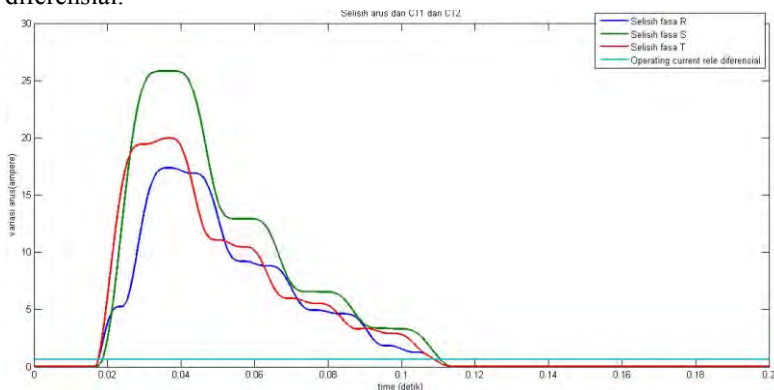
Gambar 4.12. Sinyal arus keluaran sekunder CT1 dan CT2



Gambar 4.12. Sinyal arus inrush

Bentuk sinyal keluaran dari CT1,CT2 dan arus inrush menunjukkan karakteristik saturasi dari trafo arus tersebut. Pada saat terjadi arus *inrush* dari trafo daya 5 MVA. Arus yang terbaca pada CT berada pada wilayah saturasi karena tidak sesuai perbandingan rasio CT 400/5.

Untuk mengetahui selisih arus yang terbaca pada CT1 dan CT2 maka sinyal keluarannya kemudian dilewatkan komparator. Sinyal yang dihasilkan kemudian diubah menjadi sinyal RMS oleh blok pada Gambar 4.11. Sinyal RMS yang dihasilkan kemudian ditampilkan pada *scope 2*. Hasilnya tampak pada Gambar 4.13. Gambar sinyal yang dilihat merupakan selisih arus tiap fasa yang terbaca oleh rele diferensial.



Gambar 4.13. Selisih arus dari CT1 dan CT2

Dari perhitungan manual diketahui arus yang mengalir pada rele diferensial generator (I_z) sebesar 29.95 A. sedangkan dari simulasi

didapat selisih arus tiap fasa adalah 17.35 A, 25.81 A, 19.96 A. Dari hasil perhitungan dan hasil simulasi terdapat selisih nilai yang tidak terpaut jauh, perbedaan ini kemungkinan disebabkan adanya keterbatasan *software* dalam mensimulasikan sebuah arus *inrush* atau bisa dikarenakan adanya parameter peralatan yang tidak sama antara kondisi kenyataan dilapangan dan parameter peralatan dalam *software* MATLAB.

Meskipun terdapat perbedaan hasil perhitungan dan simulasi, namun keduanya melebihi nilai arus *operating current* dari rele diferensial (nilai *operating current* rele diferensial generator PT. Saka Indonesia Pangkah Ltd adalah 0.625 A). Jadi adanya suatu arus *inrush* yang besar dari beban, menyebabkan selisih arus yang cukup besar yang melewati rele diferensial generator. Sehingga rele diferensial generator akan memberi instruksi agar CB terbuka dan akhirnya generator terputus dari system (trip).



Gambar 4.14. Simulasi sistem keseluruhan saat trafo daya 360-ET-01 energize

4.3 Penyelesaian Permasalahan dengan Transient Bias

Metode ini digunakan untuk meningkatkan batas ambang trip dari rele diferensial. Dimana peningkatan ambang trip (*operating current*) diperoleh dari penambahan arus bias (I_{BIAS}) dan arus transient bias ($I_{TR.BIAS}$).

Dari gambar 4.13 diketahui arus yang mengalir pada rele diferensial generator tiap fasa R,S,T adalah 17.35 A, 25.81 A, 19.96 A. Hal ini melebihi nilai arus *operating current* dari rele diferensial (nilai *operating current* rele diferensial generator PT. Saka Indonesia Pangkah Ltd adalah 0.625 A). Sehingga rele diferensial generator akan memberi instruksi agar CB terbuka dan akhirnya generator terputus dari system (trip). Untuk itu diperlukan peningkatan *operating current* dari rele diferensial dengan penambahan arus bias dan arus transient bias agar tidak terjadi trip.

4.3.1 Algoritma Transient Bias

Algoritma ini digunakan untuk memperoleh arus transient bias ($I_{TR.BIAS}$) dan mendeteksi gangguan internal dan eksternal. Algoritma ini disimulasikan dalam sebuah fungsi yaitu *Embedded MATLAB function1*. Dimana *list* programnya sebagai berikut :

```
function Itr =  
fcn(Idiff, Idiffd, Ibias, Ibiasd, Itrd)  
%% Inisialisasi  
K=0.875;  
D=0.7;  
S=0.01;  
Idiff_r=Idiff(1);  
Idiff_s=Idiff(2);  
Idiff_t=Idiff(3);  
Idiffd_r=Idiffd(1);  
Idiffd_s=Idiffd(2);  
Idiffd_t=Idiffd(3);  
Ibias_r=Ibias(1);  
Ibias_s=Ibias(2);  
Ibias_t=Ibias(3);  
Ibiasd_r=Ibiasd(1);  
Ibiasd_s=Ibiasd(2);  
Ibiasd_t=Ibiasd(3);
```

```

%% Proses
delIdiffr=Idiffr-Idiffdr;
delIdiffs=Idiffs-Idiffds;
delIdifft=Idifft-Idiffdt;
delIbiasr=Ibiasr-Ibiasdr;
delIbiass=Ibiass-Ibiasds;
delIbiast=Ibiast-Ibiasdt;
R1=delIdiffr/delIbiasr;
R2=delIdiffs/delIbiass;
R3=delIdifft/delIbiast;
    if R1<K && delIbiasr>0;
        Ir=D*Itrd(1)+S*delIbiasr;
    else
        Ir=D*Itrd(1);
    end
    if R2<K && delIbiass>0;
        Is=D*Itrd(2)+S*delIbiass;
    else
        Is=D*Itrd(2);
    end
    if R3<K && delIbiast>0;
        It=D*Itrd(3)+S*delIbiast;
    else
        It=D*Itrd(3);
    end
Itr=[Ir Is It];

```

Bila ada gangguan internal $R > K$ dan gangguan eksternal $R < K$. I_{DIFF} adalah arus diferensial. I_{BIAS} adalah arus bias. K adalah nilai dari *slope* yang nilainya arus diferensial dibagi arus bias. D adalah *decay coefficient* yang nilainya $D < 1$ dan dari program nilai D disetting 0.7. Untuk S (*Scaling coefficient*) disetting 0.01. Dari perhitungan manual sebelumnya arus diferensial sebesar 29.95 A. Arus bias diperoleh melalui perhitungan:

$$I_{BIAS} = \frac{1}{2} (|I_1| + |I_2|)$$

$$I_{BIAS} = \frac{1}{2} (|49.16| + |19.21|)$$

$$I_{BIAS} = 34.21 \text{ A}$$

$$I_1 = \text{Arus sekunder CT1}$$

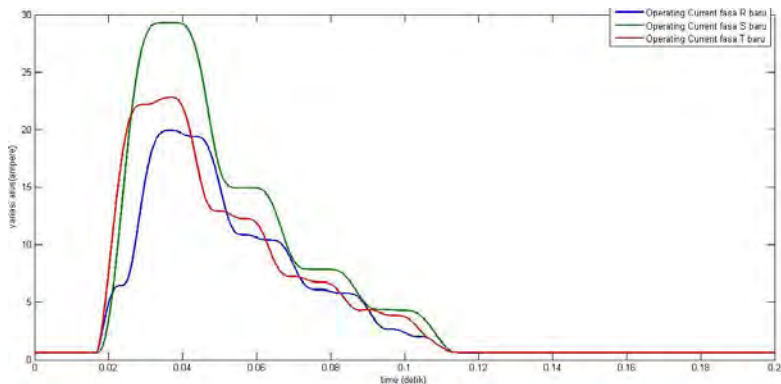
$$I_2 = \text{Arus sekunder CT2}$$

$$K = \frac{I_{DIFF}}{I_{BIAS}}$$

$$K = \frac{29.95}{34.21}$$

$$K = 0.875$$

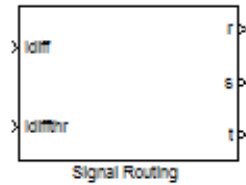
Hasil algoritma tersebut adalah arus transient bias fasa R, S, T. Untuk memperoleh *operating current* dari rele diferensial agar tidak terjadi trip (*Operating current* rele diferensial melebihi arus diferensial) maka diperlukan penambahan arus transient bias dan arus bias pada *operating current* rele diferensial sebelumnya. Hasil *Operating current* rele diferensial setelah penambahan arus transient bias dan arus bias ditunjukkan pada scope3 (gambar 4.15) sebagai berikut:



Gambar 4.15 *Operating current* rele diferensial setelah penambahan arus transient bias dan arus bias.

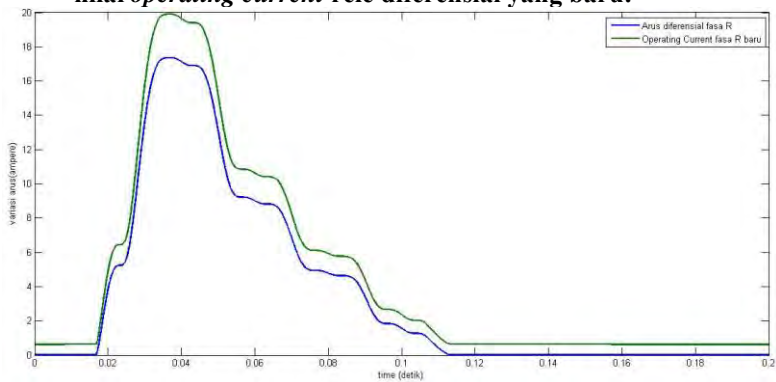
Dari gambar 4.15 diketahui bahwa bahwa *operating current* rele mengalami peningkatan per fasanya masing-masing sebesar 19.9 A, 29.28 A, 22.79 A.

Untuk membandingkan arus diferensial saat trafo *energize* dengan *operating current* rele diferensial yang baru tiap fasa R, S, T dimodelkan dalam bentuk signals routing (gambar 4.16). Hal ini untuk mengetahui apakah arus diferensial masih melebihi nilai *operating current* rele diferensial atau tidak.

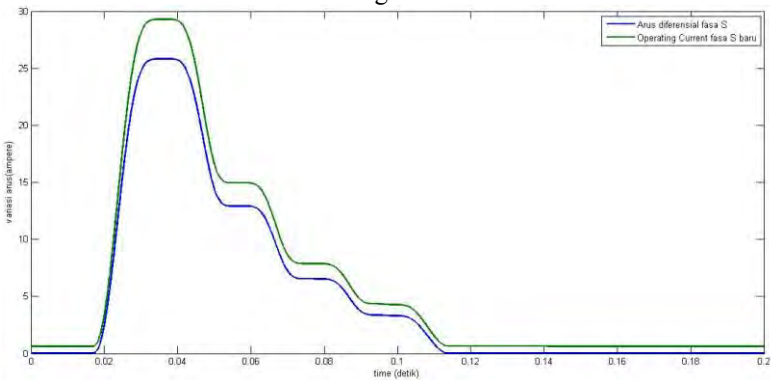


Gambar 4.16 Signals routing

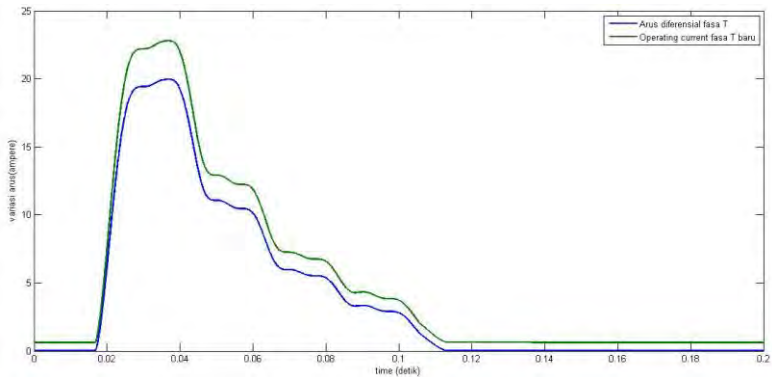
4.3.2 Hasil perbandingan per fasa antara arus diferensial dengan nilai *operating current* rele diferensial yang baru:



Gambar 4.17 Perbandingan fasa R

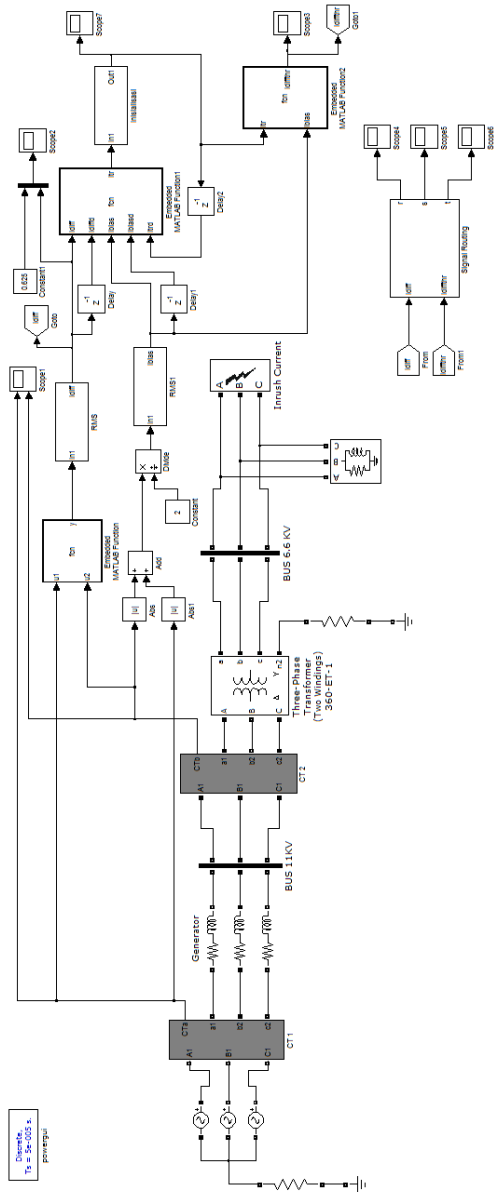


Gambar 4.18 Perbandingan fasa S



Gambar 4.19 Perbandingan fasa T

Dari hasil simulasi diketahui bahwa nilai arus diferensial tiap fasa R, S, T tidak melebihi dari nilai *operating current* rele yang mengalami penambahan arus transient bias dan arus bias menjadi 19.9 A, 29.28 A, 22.79 A. sehingga rele diferensial generator tidak bekerja dan tidak memberi instruksi agar CB terbuka (trip). Jadi dapat disimpulkan bahwa dengan metode transient bias ini dapat mengatasi masalah CT saturasi yang terjadi pada Saka Indonesia Pangkah Ltd akibat trafo daya 360-ET-01 *energize*. Untuk simulasi sistem keseluruhan saat trafo daya 360-ET-01 *energize* dan metode transient bias dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20. Simulasi sistem keseluruhan saat trafo daya 360-ET-01 *energize* dan metode transient bias

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari analisis permasalahan serta simulasi yang dilakukan, bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi CT saturasi saat trafo daya 360-ET-01 energize di PT. Saka Indonesia Pangkah Ltd menyebabkan adanya selisih arus yang besar pada rele diferensial generator yaitu I_z tiap fasanya sebesar $R=17.35\text{ A}$, $S=25.81\text{ A}$, $T=19.96\text{ A}$. Selisih arus tersebut melebihi dari nilai *operating current* rele diferensial sebesar 0.625 A sehingga menyebabkan rele diferensial generator bekerja dan memberi perintah agar *circuit breaker* terbuka dan generator terputus dari sistem.(trip).
2. Dengan metode transient bias dapat meningkatkan nilai *operating current* dari rele diferensial tiap fasanya menjadi $R=19.90\text{ A}$, $S=29.28\text{ A}$, $T=22.79\text{ A}$ sehingga menyebabkan rele diferensial tidak bekerja dan system tidak terjadi trip karena arus diferensial lebih kecil dari *operating current* rele diferensial.
3. Peningkatan *operating current* dari rele diferensial tergantung dari arus transient bias dan arus bias yang ditambahkan.

5.2. Saran

Dengan mengacu pada hasil akhir yang telah distudi dalam tugas akhir ini, adapun saran yang dapat dipertimbangkan untuk menjadi masukan kedepannya adalah dilakukan studi penyelesaian masalah CT saturasi dengan metode transient bias akibat kondisi gangguan internal dan eksternal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN JASDIKLAT, “Generator” , PT PLN Persero, Jakarta, 1997.
- [2] Azizy Mushonnifil, “Studi Kasus Dan Analisis Dampak Penempatan CT Pada Rele Diferensial Generator Di Pt. Hess Indonesia”, Tugas Akhir, Surabaya ,2014
- [3] “Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi”, P3B sumatera, 2007
- [4] IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes, ANSI/IEEE Std.242-1986.
- [5] J.Lewis Blackburn, Thomas J Domin, “Protective Relaying Principles and Applications”, Third Edition, CRC Press, 2006
- [6] S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde, “Transformers Engineering : Design and Practice”, Mareel Dekker, Inc, 2004
- [7] James H. Harlow, “Electric Power Transformers Engineering”, CRC Press LLC, 2004.
- [8] Bagleybter, O.Subramanian, S, “Enhancing Differential Protection Stability During CT Saturation with Transient Bias,” IEEE, DPSP 2012

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Sidik Supriyadi dan lahir di Sukoharjo pada tanggal 17 April 1992. Penulis mengawali pendidikannya di SDN Ngombakan 2, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Mojolaban dan SMA Negeri 1 Sukoharjo. Penulis melanjutkan pendidikannya di Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011 dan masuk bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti berbagai pelatihan dan kegiatan kemahasiswaan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email *sidiksprd@gmail.com*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)